

# pH 低下が産業排水処理 UASB リアクターの有機物除去と微生物群集構造に及ぼす影響評価

長岡技術科学大学大学院 (学) ○福井功志朗, (学) 山田光陽, (学) 根津拓福  
(正) 幡本将史, (正) 渡利高大, (正) 山口隆司

## 1. はじめに

近年、省エネ・創エネ型排水処理システムとして Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) 法を代表とする嫌気性処理方法の適用が拡大している。嫌気性処理法は曝気不要で運転可能かつ、処理過程で生成するメタンガスをエネルギーとして回収できる等の特長を有する排水処理技術である。しかしながら、嫌気性処理では過負荷や環境条件の変動により、有機物の嫌気性分解における中間代謝産物である脂肪酸が蓄積し pH 低下が発生する。pH 低下によりメタン生成古細菌が阻害を受けるとさらに有機酸の蓄積が進行し、pH が低下するという悪循環に陥り処理プロセスが破綻する。このような現象は知られているが、pH 低下に伴う微生物群集の変化等に関する情報は乏しいのが現状である。

本研究では、3 種類の異なる汚泥を用いた UASB リアクターの連続運転を行い、段階的に流入水の pH を低下させた。そして、その処理性能を化学的酸素要求量 (COD) の除去率および流出水中の揮発性脂肪酸 (VFA) 濃度から評価した。加えて、グラニュール汚泥の微生物群集構造解析を行い、pH 低下に伴うグラニュール汚泥の菌叢情報を収集した。

## 2. 実験方法

### 2.1 リアクター概要

本研究で用いた UASB リアクターの概略図および外観を Fig. 1 に示す。リアクターは、直径 50 mm、高さ 530 mm、有効容積 1 L のガラス製カラムを使用した。

リアクターは 3 系列 (リアクター A, B, C) で運転し、植種汚泥は、同一の嫌気反応槽から異なる時期に採取された 3 種類の汚泥をそれぞれに用いた。流入水は、酸生成槽通過後の化学工場排水を使用した。流出水はカラム上部に設置した U 字管から循環槽へ流入させ、流入水と同量を循環水として再度カラムへ流入させた。

### 2.2 運転条件

リアクターの水理的滞留時間 (HRT) は 6.9 h とし、 $35 \pm 1$  °C の恒温庫内に設置した。スタートアップは、

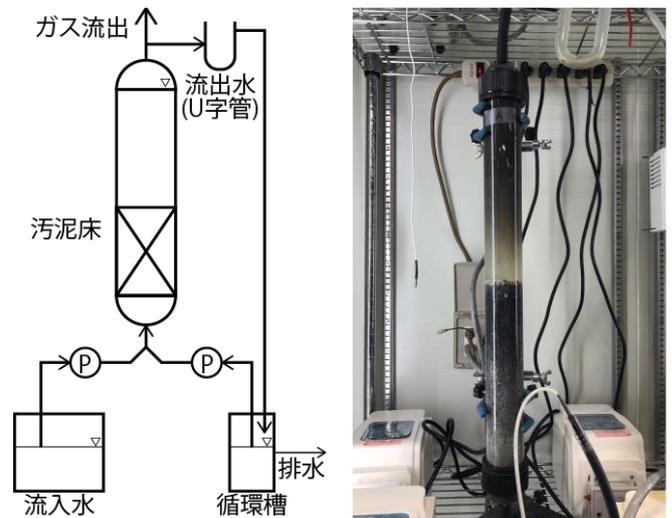


Fig. 1. リアクターの概略図およびその外観

流入水を希釈し段階的に負荷を上昇させることで行った。スタートアップ後は、流入水に HCl を添加することで pH を 6 (phase 1), 5 (phase 2), 4 (phase 3) と段階的に低下させ、計 188 日間の連続運転を行った。

### 2.3 水質分析方法

水質分析は、流入水および流出水について行った。測定項目は、pH、全 COD (tCOD)、溶解性 COD (sCOD)、VFA とした。tCOD と sCOD は、クロム酸法による酸素要求量を吸光光度計により測定した。VFA は、GC-FID により測定した。溶解性成分の分析は、孔径 0.22  $\mu\text{m}$  のメンブレンフィルターでろ過した試料を用いた。

### 2.4 微生物群集構造解析

微生物群集構造解析は、初期汚泥および運転終了日に採取したグラニュール汚泥について行った。DNA 抽出は、FastDNA™ SPIN Kit for Soil を使用して標準プロトコルに従って実施した。PCR 増幅は、515F-806R のプライマーペアを使用し、94 °C で 3 min の初期変性の後に、(94 °C-1 min, 55 °C-0.5 min, 72 °C-0.5 min) のサイクルを 28-35 回繰り返す、72 °C で 10 min の最終伸長で実施した。増幅産物の精製は、QIAquick PCR Purification Kit を使用して実施した。塩基配列は iSeq 100 によって取得し、解析は、QIIME 2 を使用した<sup>1)</sup>。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 水質分析結果

全リアクターで、スタートアップの終了時に tCOD 除去率 70%以上の良好な処理性能が確認された。流入 pH を 6 に設定した phase 1 での tCOD 除去率は 55–64 %であり、大きな影響は確認されなかった。また、流入 pH を 5 に設定した phase 2 では、tCOD 除去率が 45–61 %，流入 pH を 4 に設定した phase 3 では、tCOD 除去率が 6–28 %と大きく低下した。特に、phase 3 では、スタートアップ時から phase 2 まで 80 %以上除去されていた VFA がほぼ処理されておらず、流入水 pH の低下によって、処理が破綻した。

本実験では、流入水の pH を 4 に設定すると tCOD および VFA の除去率が大幅に低下した。したがって、UASB リアクターの安定した運転には流入水の pH を 6 以上に保つ必要があると考えられる。

#### 3.2 微生物群集構造解析結果

Fig. 2 に各リアクターの初期汚泥および運転最終日に採取したグラニュール汚泥の微生物群集構造解析結果を示す。各リアクターの初期汚泥は Methanosaeta 科や Methanobacteria 科のメタン菌が優占する一般的な嫌気汚泥の微生物叢であった。ただし、リアクターBの初期汚泥では、上記のメタン菌に加えて Pseudomonada 科が 12%検出された。運転終了日のグラニュール汚泥は、全てのリアクターで Pseudomonada 科の検出割合が増加した。また、リアクターAの汚泥はMethanobacteria 科の検出割合が増加し、リアクターCの汚泥はMethanosaeta 科の検出割合がほぼ変化しなかった。流入 pH 低下に伴う酸敗化により、一部の耐酸性をもつ Pseudomonada 科を除く微生物の活性低下<sup>2)</sup>によるものだと考えられる。

#### 4. まとめ

UASB リアクターの流入水 pH を 4 にまで低下させると、tCOD 除去率および VFA 除去率が大幅に低下した。pH4 における運転期間に採取した UASB リアクター内のグラニュール汚泥の微生物群集構造は、Methanosaeta 科および Methanobacteria 科の存在割合が低下し、Pseudomonada 科の存在割合が増加した。

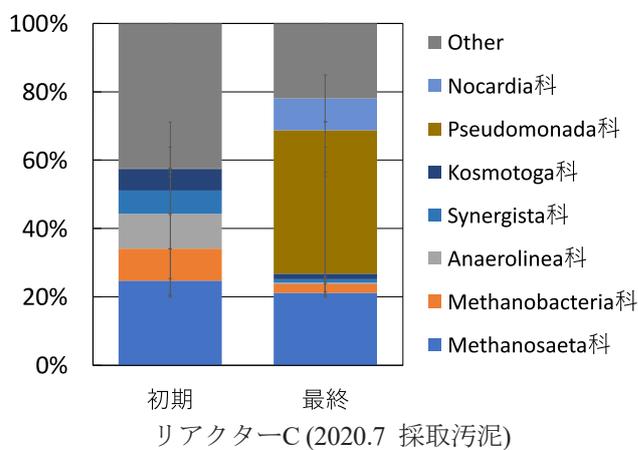
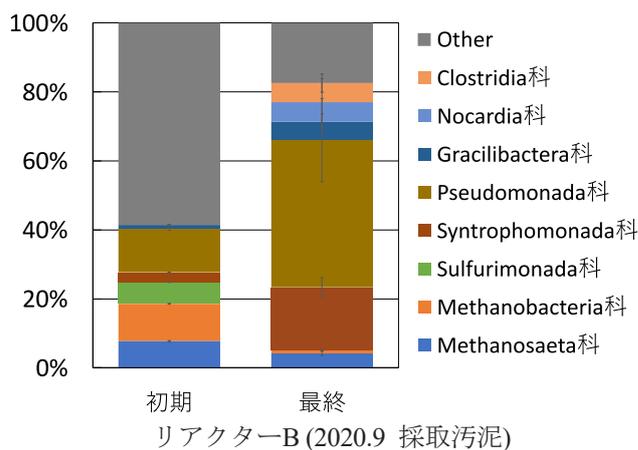
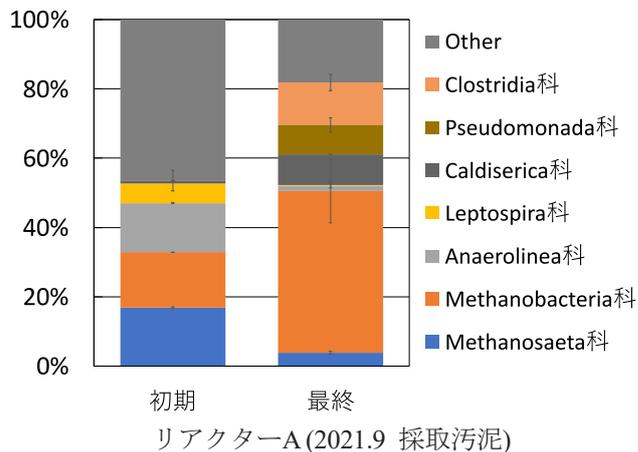


Fig. 2. 各リアクターの微生物群集構造解析結果

#### 参考文献

- 1) E. Bolyen, *et al.*, Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nature Biotechnology*, 37:852–857 (2019).
- 2) A. Yasar, *et al.*, Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater by UASB Reactor Integrated with Chemical Oxidation Processes; an Overview, *Polish Journal of Environmental Studies*. 19(5):1051–1061 (2010).